

**This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- **BLACK BORDERS**
- **TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- **FADED TEXT**
- **ILLEGIBLE TEXT**
- **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- **COLORED PHOTOS**
- **BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS**
- **GRAY SCALE DOCUMENTS**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

WAVELENGTH MULTIPLEX OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM

Patent Number: JP62018131

Publication date: 1987-01-27

Inventor(s): AOKI TAKAHIRO

Applicant(s): NEC CORP

Requested Patent: JP62018131

Application Number: JP19850155967 19850717

Priority Number(s):

IPC Classification: H04B9/00

EC Classification:

Equivalents:

Abstract

PURPOSE: To relax remarkably the limitation in the transmission range and the operating wavelength region due to dispersion of an optical fiber by using an optical fiber bundle having a dispersion of opposite sign to that of the optical fiber so as to cancel the dispersion at each wavelength.

CONSTITUTION: A signal light in wavelength λ_1 - λ_5 irradiated from a semiconductor laser is collected and fed to optical fibers 11-15, subject to wavelength multiplex at a light synthesis circuit 5 and led to an optical fiber 2. A wavelength multiplex at a light synthesis circuit 5 and led to an optical fiber 2. A wavelength multiplex signal propagated through the fiber 2 is multiplexed into a signal light of wavelength λ_1 - λ_5 and received by photodetectors 71-75. Then, a signal sent at each wavelength is extracted from electric signal output terminals 81-85. When the dispersion of the fiber 2 is $M_O(\lambda_i)$ and the length is L_O , each dispersion $M_i(\lambda_i)$ and each length L_i of the fibers 11-15 are set to satisfy $M_i(\lambda_i) \cdot L_i = -M_O(\lambda_i) \cdot L_O$. Thus, the dispersion of the fiber 2 is compensated by the fiber bundle 1.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

⑰ 公開特許公報 (A) 昭62-18131

⑯ Int.Cl.
H 04 B 9/00識別記号
厅内整理番号
E-6538-5K

⑮ 公開 昭和62年(1987)1月27日

審査請求 未請求 発明の数 1 (全 5 頁)

⑯ 発明の名称 波長多重光通信システム

⑰ 特願 昭60-155967

⑰ 出願 昭60(1985)7月17日

⑯ 発明者 青木 恭弘 東京都港区芝5丁目33番1号 日本電気株式会社内
 ⑯ 出願人 日本電気株式会社 東京都港区芝5丁目33番1号
 ⑯ 代理人 弁理士 岩佐 義幸

明細書

1. 発明の名称

波長多重光通信システム

2. 特許請求の範囲

(1) それぞれの波長が λ_i ($i = 1, 2, \dots, N$, N は 2 以上の自然数) である N 個の信号光源と、少なくとも N 波長の光を合波する光合波回路と、少なくとも N 波長の光を分波する光分波回路と、分波後の波長毎の光を受光する N 個の光検出器と、 N 波長の光をそれぞれ所定の距離だけ伝送させるための、各々分散 M_i (λ_i)、長さ L_i ($i = 1, 2, \dots, N$) を有する N 本の光ファイバからなる光ファイバ束と、波長多重後の光を伝送させる分散 M (λ_i)、長さ L を有する光ファイバとを備え、かつ、前記光ファイバ束は、
 $M_i(\lambda_i) \cdot L_i = -M(\lambda_i) \cdot L$ ($i = 1, 2, \dots, N$) の条件をそれぞれの波長 λ_i ($i = 1, 2, \dots, N$) で満足するようにしたことを特徴とする波長多重光通信システム。

(2) 特許請求の範囲第1項記載の波長多重光通

信システムにおいて、前記光ファイバ束を、前記 N 個の信号光源と前記光合波回路との間に挿入させたことを特徴とする波長多重光通信システム。

(3) 特許請求の範囲第1項記載の波長多重光通信システムにおいて、前記光ファイバ束を、前記光分波回路と前記 N 個の光検出器との間に挿入させたことを特徴とする波長多重光通信システム。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は、波長多重光通信システム、特に光ファイバ伝送路の分散による、伝送距離や使用する波長領域の制限が従来に比べて大幅に緩和された波長多重光通信システムに関する。

〔従来技術とその問題点〕

近年の高性能な単一モード半導体レーザや低損失な単一モード光ファイバの開発に伴って、伝送速度 2 G b/s 以上でかつ伝送距離 100 km 以上という様な高速・長距離光通信が実験室レベルでは実現可能になった。そして、光ファイバの広帯域性を生かして、さらに伝送容量の拡大を図るこ

とを目的として、波長の異なる複数の光を多重して伝送させる高速で長距離な波長多重光通信システムが検討されつつある（エレクトロニクス・レターズ（Electron. Lett.），第21巻，1985年，105～106ページ）。

一方、光ファイバには、波長の違いによって光のファイバ伝搬時間が異なる性質すなわち分散があるので、光源にスペクトル拡がりがあると、ファイバ伝搬によって光のパルス幅が拡がるという問題がある。この分散によるパルス幅の拡がりを最小限に抑制するには、伝送される信号光の中心波長を光ファイバの零分散波長に一致させる必要がある。このことは、半導体レーザのスペクトル拡がりが高速変調時にはより大きくなるので、高速光通信では特に重要である。

しかしながら、多波長の信号光を多重して伝送させる波長多重光通信では、ある一つの波長の信号光は光ファイバの零分散波長に一致させ得るもの、その他の波長の信号光に対しては一致させることができない。その結果、従来の波長多重光

通信システムでは、光ファイバの零分散波長とその波長が一致していない信号光において、伝送距離を長くするとパルス幅の拡がりが大きくなつて符号間干渉が生じ、符号誤り率を低く保てなくなるという欠点があった。言い換えれば、分散によるパルス幅の拡がりによって伝送距離が制限されるために、光ファイバの分散は波長多重方式によって大容量化を図る上での大きな傷害となっていた。さらに、分散値が大きくなるとパルス幅の拡がりが大きくなるので、多重する波長域も制限されていた。

〔発明の目的〕

本発明の目的は、上述した様な従来システムの欠点を除去して、光ファイバ伝送路の分散による、伝送距離や使用できる波長域の制限を従来に比べて大幅に緩和した波長多重光通信システムを提供することにある。

〔発明の構成〕

本発明の波長多重光通信システムは、それぞれの波長が λ_i ($i = 1, 2, \dots, N$, N は2以上の

自然数) である N 個の信号光源と、少なくとも N 波長の光を合波する光合波回路と、少なくとも N 波長の光を分波する光分波回路と、分波後の波長毎の光を受光する N 個の光検出器と、 N 波長の光をそれぞれ所定の距離だけ伝送させるための、各々分散 $M_i(\lambda_i)$ 、長さ L_i ($i = 1, 2, \dots, N$) を有する N 本の光ファイバからなる光ファイバ束と、波長多重後の光を伝送させる分散 $M_0(\lambda_0)$ 、長さ L_0 を有する光ファイバとを備え、かつ、前記光ファイバ束は、

$M_i(\lambda_i) \cdot L_i = -M_0(\lambda_0) \cdot L_0$ ($i = 1, 2, \dots, N$) の条件をそれぞれの波長 λ_i ($i = 1, 2, \dots, N$) で満足するようにしたことを特徴としている。

本発明の好適な実施例によれば、前記光ファイバ束を、前記 N 個の信号光源と前記光合波回路との間に挿入させたことを構成上の特徴としている。

本発明の好適な他の実施例によれば、前記光ファイバ束を、前記光分波回路と前記 N 個の光検出器との間に挿入させたことを構成上の特徴としている。

〔発明の作用・原理〕

本構成は、波長多重後の光を伝送させる前記光ファイバの分散の影響を、前記光ファイバとは反対符号の分散を有する前記光ファイバ束を用いて、各々の波長において相殺する様にしたものである。その結果、前記光ファイバ束および前記光ファイバを伝搬した後の信号光のパルス幅は、送信時のパルス幅とほとんど変わらなくすることができる。したがって、この発明によれば、伝送距離は、送信光のパワーレベル、光ファイバの損失および受光器の錐音特性に基づいて与えられる最小受光レベルの3つの条件によってのみ決定されるので、理想的な波長多重光通信システムが構成できる。

以下に本発明によって分散の影響が相殺できる理由について説明する。

一般に、波長 λ における光ファイバの分散 $M(\lambda)$ は、

$$M(\lambda) = \frac{1}{L} \cdot \frac{d\tau}{d\lambda} \quad \dots \textcircled{1}$$

で定義される。ここで、 τ は光ファイバの長さ、

ては長さしの光ファイバでの光の伝搬時間である。

この様な分散 $M(\lambda_i)$ 、長さしである光ファイバを、中心波長 λ_i 、スペクトル幅 $\Delta\lambda_i$ 、送信時のパルス幅 $\Delta t_{i,0}^{out}$ の信号光が伝搬した後のパルス幅 $\Delta t_{i,out}$ は、

$$\Delta t_{i,out} = \sqrt{(\Delta t_{i,0}^{out})^2 + (M(\lambda_i) \cdot L \cdot \Delta \lambda_i)^2} \quad \dots ②$$

で与えられる（「光ファイバ」、オーム社（昭和58年）p.290）。

したがって、分散 $M_0(\lambda_i)$ 、長さしの前記光ファイバと前記光ファイバ束のうち分散 $M_1(\lambda_i)$ 、長さしの光ファイバを伝搬した後の信号光のパルス幅 $\Delta T_{i,out}$ は、

$$\Delta T_{i,out} = \sqrt{(\Delta t_{i,0}^{out})^2 + (M_0(\lambda_i) \cdot L_i \cdot \Delta \lambda_i + M_1(\lambda_i) \cdot L_0 \cdot \Delta \lambda_i)^2} \quad \dots ③$$

となる。

ゆえに、それぞれの波長 λ_i ($i = 1, 2 \dots N$, N は2以上の自然数)で、

$$M_1(\lambda_i) \cdot L_0 = -M_0(\lambda_i) \cdot L_i$$

$$L_0 = -\frac{M_0(\lambda_i)}{M_1(\lambda_i)} \cdot L_i \quad (i = 1, 2, \dots N) \quad \dots ④$$

で与えられる。

④式より明らかな様に、前記光ファイバ束を構成する光ファイバとしては、波長 λ_i ($i = 1, 2, \dots N$)において分散の大きなものを用いれば $M_1(\lambda_i) > M_0(\lambda_i)$ とできるので、各々のファイバ長 L_0 ($i = 1, 2, \dots N$)は L_i に比べて短かくできる。

〔実施例〕

次に、図面を参照して本発明の波長多重光通信システムについて詳細に説明する。

第1図は、本発明による一実施例であり、第2図は本実施例に用いたすべての光ファイバの分散特性を示した図である。この実施例は、5波長多重光通信システムであり、光ファイバ2の分散を補償する光ファイバ束1は、信号光源31～35と光合波回路5の間に挿入されている。

第1図において、信号光源31, 32, 33, 34, 35

($i = 1, 2 \dots N$) $\dots ④$

の条件を満たすN本の光ファイバを用いて前記光ファイバ束を構成すれば、 $\Delta T_{i,out} = \Delta t_{i,0}^{out}$ ($i = 1, 2 \dots N$)となるので、分散によるパルス幅の拡がりを除去できる。

また、本発明による波長多重光通信システムでは、④式を満たす様な光ファイバ束が存在する限り、使用する波長領域の制限がないことがわかる。

单一モード光ファイバの分散は、コア径や比屈折率差を適切に制御することによって変えられ、その零分散波長は $1.3 \mu m$ から $1.7 \mu m$ の波長領域のいずれの個所にも変えられる（エレクトロニクス・レターズ（Electron. Lett.），第15巻，1979年，474～476ページ）。したがって、光ファイバが低損失である $1.3 \mu m$ ～ $1.6 \mu m$ の任意の波長域において、④式を満たす様な前記光ファイバ束を製作することができる。

さらに、④式より、前記光ファイバの分散を相殺するために必要な前記光ファイバ束のファイバ長 L_0 ($i = 1, 2, \dots N$)は、

としては、それぞれの発振波長が $\lambda_1 = 1.50 \mu m$, $\lambda_2 = 1.52 \mu m$, $\lambda_3 = 1.55 \mu m$, $\lambda_4 = 1.57 \mu m$, $\lambda_5 = 1.60 \mu m$ に設定されたInGaAsP, P, / InP分布帰還型単一軸モード半導体レーザを用いており、それらは、電気信号入力端子41～45に入力された2Gbit/sの2値符号電気パルスによってそれぞれ独立に変調されている。これら半導体レーザから出射された波長 λ_1 ～ λ_5 の信号光は集光されて、それぞれ光ファイバ11～15に結合されている。そして、その光ファイバ11～15は、光合波回路5に接続されており、前記の波長 λ_1 ～ λ_5 の信号光は、波長多重された後に光ファイバ2に導かれている。

さらに、光ファイバ2を伝搬した波長多重信号光は、光分波回路6によって、波長 λ_1 ～ λ_5 の信号光にそれぞれ分波された後に、光検出器71～75によって受光されている。そして、各々の波長によって送られた信号は、電気信号出力端子81～85より取り出される。

ここで、光ファイバ11～15は、コア径 $5 \sim 10 \mu$

m. 比屈折率差1.0~0.3%，長さは全て20kmの単一モードシリカファイバで、そのコア径や比屈折率差を制御することによって、その分散特性は第2図に示された様に設定されている。光ファイバ2は、光ファイバ15とコア径、比屈折率差は同じであり（コア径5μm、比屈折率差約1.0%）、その零分散波長は1.60μm、長さは約100kmである。また、光合波回路5及び光分波回路6としては、いずれも回折格子とレンズを用いて構成されたものを、光検出器71~75としては、受光径50μmのInGaAs・アバランシフォトダイオード（InGaAs-APD）を用いている。

この実施例では、光ファイバ11~15の分散をM_i（λ_i）（i=1, 2, 3, 4, 5）、光ファイバ2の分散をM_o（λ_i）（i=1, 2, 3, 4, 5）で表わすと、それらの値は第2図に示した様に設計されているので、

$$M_i(\lambda_i) \cdot L_i = -M_o(\lambda_i) \cdot L_o \quad (i=1, 2, 3, 4, 5) \quad \dots \textcircled{⑥}$$

となっている。例えばi=1の場合、M_i(λ_i) =

1.50 μm) = 14 ps/nm·km, L_i = 20 km, M_o(λ_i = 1.50 μm) = -2.8 ps/nm·km, L_o = 100 kmなので、⑥式の条件が満足されていることがわかる。他の波長λ_i～λ₅においても同様である。したがって、この実施例では波長λ_i（i=1, 2, 3, 4, 5）のいずれの波長においても、予想通りに光ファイバ伝搬によるパルス幅の拡がりは観測されなかった。

次に、このシステムの性能について具体的に説明する。光ファイバ11~15へ結合された信号光のピークパワーは、いずれの波長でも+1 dBmである。また、光ファイバ11~15および光ファイバ2の伝送損失は波長λ_i = 1.50 μmで最も大きく、その値はそれぞれ約0.21 dB/km、約0.20 dB/kmであった。さらに、光合波回路5、及び光分波回路6の挿入損失は各々3 dBであった。したがって、各波長での信号光の受光ピークパワーは、波長1.50 μmで-29.2 dBmであり、その他の波長ではそれより1~2 dB程度大きかった。一方、この実施例での光ファイバの分散によるパ

ワーペナルティは0.1 dB以下であり、符号誤り率10⁻⁹における受信感度は各波長で約-30 dBmであった。即ち、このシステムでは、5波長多重120km伝送時のマージンは1 dB~3 dBであった。

これに対して、従来のシステムの様に、光ファイバ2を120kmとして伝送させた場合には、波長1.50 μmにおいて約3.5 dBのワーペナルティが生じ、その波長での信号光を10⁻⁹以下の誤り率で受信することはできなかった。

上記においては、本発明による波長多重光通信システムについて一実施例を用いて説明したが、本発明はこの実施例に限定されることなくいくつかの変形が考えられる。

例えば、本実施例は1.5 μm帯で、5波長多重させた場合であるが、波長多重するチャンネル数は2以上であれば、いかなる自然数であってもよいし、使用する波長域は、1.3 μm帯などの他の波長域であってもよい。また、本実施例では光ファイバ束1の長さを全て20kmとしたが、前述の

⑥式の条件を満たす限り各々の光ファイバの長さを変えても良いことは言うまでもない。その他に、光合波回路や光分波回路は干渉膜フィルターを用いたものであってもよいし、光ファイバはGeO₂やP₂O₅をコアにした光ファイバ、あるいは多モード光ファイバを用いてもよい。

更にまた、光ファイバ2の分散を補償する光ファイバ束1は、光分波回路と光受光器の間に挿入してもよい。

〔発明の効果〕

以上説明した様に、本発明による波長多重光通信システムでは、波長多重後の光を伝送させる光ファイバでの分散を、この光ファイバとは反対符号の分散を有する別の光ファイバ束を用いて、各々の信号光波長において相殺する様にしているので、従来に比べて、光ファイバの分散による伝送距離や使用する波長領域の制限が大幅に緩和されるという利点がある。

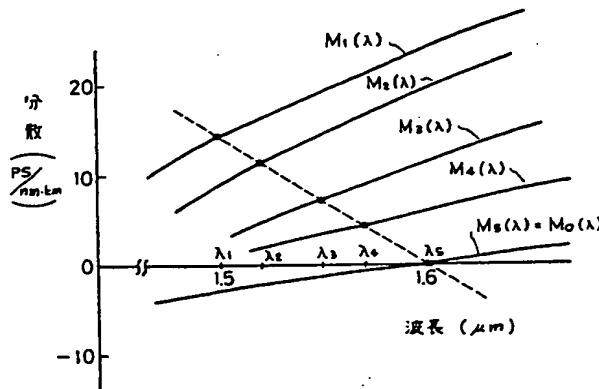
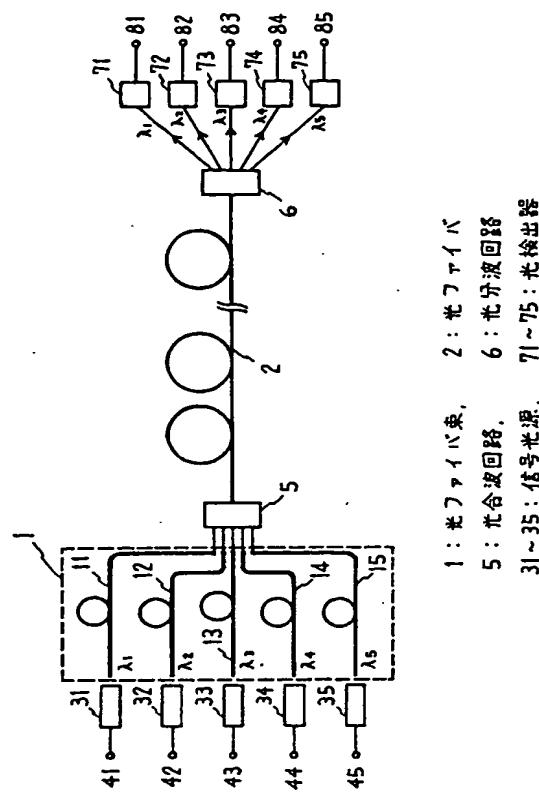
4. 図面の簡単な説明

第1図は、本発明による一実施例の構成図、

第2図は、本発明による一実施例に用いた光ファイバの分散特性を示す図である。

- 1 光ファイバ束
- 11, 12, 13, 14, 15 光ファイバ
- 2 光ファイバ
- 31, 32, 33, 34, 35 信号光源
- 41, 42, 43, 44, 45 電気信号入力端子
- 5 光合波回路
- 6 光分波回路
- 71, 72, 73, 74, 75 光検出器
- 81, 82, 83, 84, 85 電気信号出力端子

代理人 弁理士 岩 佐 義 幸



第2図

第1圖